

# 医用多孔钽的性能及其在膝关节损伤中的应用\*

王大鹏<sup>1</sup>, 李琪佳<sup>2</sup>, 王志强<sup>2</sup>

## Properties and application of medical porous tantalum in knee joint injury

Wang Da-peng<sup>1</sup>, Li Qi-jia<sup>2</sup>, Wang Zhi-qiang<sup>2</sup>

### Abstract

**BACKGROUND:** A lot of metal scaffolds have been applied in human body, some materials have shortcomings, but medical porous tantalum exhibited steady properties for clinical and scientific research, it is increasingly becoming a new development direction for bone tissue engineering.

**OBJECTIVE:** To review the structural characteristics, mechanical properties, biological characteristics and the application of porous tantalum in knee joint injuries.

**METHODS:** Chinese Journal Full-text and Pubmed databases from December 1955 to January 2010 were searched on computer by using "porous tantalum, bone tissue engineering, biological material, trabecula metal" in English and Chinese as the key words. Totally 81 literatures were screened out.

**RESULTS AND CONCLUSION:** Structural characteristics of medical porous tantalum has a three-dimensional porous structure, which is beneficial to osteoblast cell adhesion, differentiation and growth, promoting bone ingrowth; mechanical properties of porous tantalum are close to that of normal bone tissue in the elastic modulus, fatigue resistance and friction coefficient; biological characteristics of porous tantalum showed good biocompatibility, corrosion resistance, capacities of bone induction and regeneration; it has a bright application future in knee injury treatment, but few studies report the application of medical porous tantalum in China and the study was not thorough enough, which need more in-depth study and exploration.

Wang DP, Li QJ, Wang ZQ. Properties and application of medical porous tantalum in knee joint injury. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu yu Linchuang Kangfu. 2011;15(29):5463-5466. [http://www.crter.cn http://en.zgckf.com]

<sup>1</sup>Affiliated Hospital of North China Coal Medical College, Tangshan 063000, Hebei Province, China; <sup>2</sup>Orthopaedics Center, Affiliated Hospital of Hebei United University, Tangshan 063000, Hebei Province, China

Wang Da-peng★, Studying for master's degree, Physician, Affiliated Hospital of North China Coal Medical College, Tangshan 063000, Hebei Province, China  
Wdpeng1204@163.com

Correspondence to: Wang Zhi-qiang, Professor, Chief physician, Orthopaedics Center, Affiliated Hospital of Hebei United University, Tangshan 063000, Hebei Province, China

Received: 2011-01-07  
Accepted: 2011-02-21

<sup>1</sup>华北煤炭医学院附属医院, 河北省唐山市 063000;  
<sup>2</sup>河北联合大学附属医院骨科中心, 河北省唐山市 063000

王大鹏★, 男, 1981年生, 河北省定兴县人, 汉族, 河北联合大学在读硕士, 医师, 主要从事骨组织修复替代材料的研究。  
Wdpeng1204@163.com

通讯作者: 王志强, 教授, 主任医师, 河北联合大学附属医院骨科中心, 河北省唐山市 063000

中图分类号: R318  
文献标识码: A  
文章编号: 1673-8225 (2011)29-05463-04

收稿日期: 2011-01-07  
修回日期: 2011-02-21  
(20101107005/NL·Y)

### 摘要

**背景:** 随着临床上大量金属支架材料在人体的广泛应用, 很多金属材料表现出一些相对不足, 但是医用多孔钽金属在许多临床和科研中性能发挥稳定, 逐渐成为新的骨组织工程发展方向。

**目的:** 综述多孔钽金属的结构特性、力学性能、生物特性及其在膝关节损伤中的应用情况。

**方法:** 应用计算机检索 1955-12/2010-01 中国期刊全文数据库和 PubMed 数据库, 英文检索词为 "porous tantalum, bone tissue project, biological material, trabecula metal", 中文检索词为 "多孔钽, 骨组织工程, 生物材料, 小梁金属", 共检索到文献 81 篇。

**结果与结论:** 医用多孔钽在结构特性方面具有的三维多孔结构, 有利于成骨细胞黏附、分化和生长, 促进骨长入; 在力学性能方面多孔钽的弹性模量、抗疲劳特性、摩擦系数与正常骨组织相近; 在生物特性方面多孔钽表现出良好的生物相容性、抗腐蚀性、骨诱导和再生能力; 在膝关节损伤应用方面有着广阔的发展前景, 但是目前医用多孔钽在国内应用较少, 而且研究不够深入, 这就有待于人们去更深入的研究和探索。

**关键词:** 医用多孔钽; 骨组织工程; 结构特性; 力学性能; 生物特性; 综述文献

doi:10.3969/j.issn.1673-8225.2011.29.035

王大鹏, 李琪佳, 王志强. 医用多孔钽的性能及其在膝关节损伤中的应用[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(29):5463-5466. [http://www.crter.org http://cn.zgckf.com]

## 0 引言

钽(Tantalum), 元素周期表中第73号元素。1802年, 由瑞典化学家瑞克贝格发现, 1903年鲍尔登制得了钽金属。钽金属是一种灰色、光亮、坚硬的金属。其熔点接近3 000 ℃, 并且化学性质极其稳定。因其具有熔点高、强度大、抗磨损、耐腐蚀等良好的物理和化学性质, 而被广泛地应用于电容器、真空炉、化学反应装置、核反应堆、航空航天器和导弹制造中。此外, 由于钽金属的相对惰性和对机体组织无毒害等生物性质, 钽金

属也成为了制造外科植入的理想材料。其在医学方面的应用历史已超过半个世纪, 其中包括心脏起搏器制造、颅骨缺损修补、血管夹制造、股骨柄假体制造等方面的应用<sup>[1]</sup>。

近年来, 更多的钽金属被制成多孔金属材料用于临床, 一些临床研究表明, 医用多孔钽金属由于其出色的性能而有望赶超正在应用的其他金属材料, 成为骨组织工程新的发展方向。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料来源 由第一作者应用计算机检索

1955-12/2010-01 中国期刊全文数据库 (<http://www.cnki.net>)、PubMed 数据库 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>)相关文章, 中文检索词为“多孔钽, 骨组织工程, 生物材料, 小梁金属”, 英文检索词为“porous tantalum, bone tissue project, biological material, trabecula metal”。共检索到文献81篇。

## 1.2 入选标准

纳入标准: ①具有原创性, 论断论据可靠的实验文章。②观点明确, 分析全面的文章。③文献主题内容与此课题联系密切的文章。

排除标准: ①重复性研究。②内容、数据不完整的文章。

1.3 资料提取 计算机初检得到81篇文献, 中文12篇, 英文69篇, 阅读标题和摘要进行初筛, 排除因研究目的与本文无关及内容重复的研究50篇, 共保留其中的31篇归纳总结。

1.4 质量评估 符合纳入标准的31篇文献中, 文献[1-6]描述了医用多孔钽的结构特性及相关实验研究; 文献[7-10]描述了医用多孔钽的力学特性及相关实验研究; 文献[11-28]描述了医用多孔钽的生物学特性; 文献[29-31]描述了医用多孔钽在膝关节损伤中的应用现状。

## 2 结果

2.1 医用多孔钽金属结构特性 医用多孔钽金属由商业纯钽制成。首先对多聚泡沫材料-聚亚安酯前体进行热降解, 从而得到低密度、玻璃质样的碳骨架, 这种碳骨架呈多重的十二面体排列, 其内为网状结构。将商业纯钽通过化学蒸气沉积、渗透的方法结合到碳骨架上, 最后将碳骨架去掉, 这样形成了独特的金属多孔结构<sup>[2]</sup>。有学者对医用多孔金属钽材料进行了相关的检测后发现<sup>[3]</sup>: 在显微镜下该材料结构如同松质骨, 其内孔隙大小400~600 μm之间, 整体互相连接的孔隙率高达75%~85%, 明显高于其他生物固定材料如钴、铬、钛等30%~50%的孔隙率。多孔钽所具有的三维多孔结构更有利于成骨细胞黏附、分化和生长, 促进骨长入, 从而加强植入体与骨之间的连接, 达到生物固定的作用, 同时也有利于水分和营养物质在植入体内的传输。Hacking等<sup>[4]</sup>通过将矩形金属钽植入物植入杂种犬的皮下组织, 在第4, 8和16周时评价模型中纤维组织向内生长情况, 通过组织学检查结果显示, 在矩形植入物内部和表面长有含有血管的完整组织。Aldegheri等<sup>[5]</sup>在2004-06/2006-06进行了15次临床实验。在牵拉和X射线的辅助下, 将多孔钽金属棒插进股骨头下部的缺血区域, 再对股骨进行Harris评分, 并在诊断过程中采用了二维X射线照射或核磁共振成像技术, 结果显示: 医用多孔钽金属的植入能刺激组织修复, 解除坏死区域和健康区域之间的隔阂, 从而达到再造局部血液循环的目的。Veillette

等<sup>[6]</sup>也做过一个临床研究, 评价了应用髓核减压术和医用多孔钽植入治疗股骨头坏死患者的临床和放射结果, 他们发现: 在股骨头早期坏死阶段应用髓核减压术和多孔钽植入改善了坏死区域的血液供应状况, 特别是对于疾病早期阶段的患者而言, 治疗效果令人鼓舞。

2.2 医用多孔钽金属的力学性能 医用多孔钽金属材料的弹性模量约为3 GPa, 介于皮质骨与松质骨的弹性模量之间, 而钛合金、钴铬合金等弹性模量明显高于骨皮质<sup>[7]</sup>。另一方面, 与其他多孔材料相比, 医用多孔钽金属的摩擦系数要大得多。相对于松质骨和皮质骨, 医用多孔钽的摩擦系数分别是0.88和0.74, 比其他材料的摩擦系数要高40%~80%, 这也有利于植入宿主骨后的初期稳定。Nevada生物力学实验室的研究人员检测了医用多孔钽金属钉和腓骨的屈曲强度<sup>[8-9]</sup>, 并通过线性回归分析资料计算其屈曲强度为10 Nm, 而人腓骨平均屈曲强度为8.0~12.5 Nm。这说明多孔钽金属材料的弹性模量和正常骨组织的相似, 符合股骨头的弹性模量。这样可以使材料植入后的应力阻挡作用忽略不计, 从而有利于骨骼重新塑形。Zardiackas等<sup>[10]</sup>研究发现: 医用多孔金属钽比骨松质更坚固, 其抗疲劳特性和疲劳极限也比骨松质、冻干骨片、陶瓷制品和钙盐粘合材料更优秀, 足以支撑生理负荷。

## 2.3 医用多孔钽金属的生物学特性

生物毒性: 许多金属材料会与人体发生反应并产生对人体有害的物质, 但是多孔钽金属却在许多实验中一直保持着相对惰性。Schepers<sup>[11]</sup>通过实验证实: 生物体内清除钽的主要载体是吞噬细胞, 体内吞噬细胞在接触钽尘1 h后, 仍保持细胞活性, 仅表现为葡萄糖氧化的增加, 而相同条件下矽尘则可以使吞噬细胞出现严重的胞浆变性和死亡, 这说明钽没有生物毒性, 对人体没有毒害作用。Johansson等<sup>[12]</sup>对钽和钛的生物相容性进行了对照性研究, 结果发现在钽的周围可偶见巨噬细胞, 但与钛相比总体结果差异无显著性意义( $P > 0.05$ )。这也说明了其在体内长期置入时无明显的毒性及致癌性。

抗腐蚀性: 金属材料是最典型具有反应活性的一类生物材料, 在含有多种复合电解质溶液的体液中容易发生电子迁移, 从而促成电化学腐蚀<sup>[13]</sup>。而医用多孔钽金属在体内却表现出较强的抗腐蚀能力, 医用多孔钽金属在模拟体液的环境中, 会在表面形成一层致密的氧化膜, 从而对钽进行了保护, 有效的防止了钽的进一步氧化。Levine等<sup>[14]</sup>通过实验表明, 与钛和不锈钢植入物相比, 医用多孔钽金属植入物在较高酸性环境中没有显著的质量或粗糙度的改变, 具有出色的抗腐蚀能力。Matsuno等<sup>[15]</sup>通过一项动物实验对钽的生物相容性进行研究, 他们在胎鼠的软组织及股骨下植入钽丝, 植入后4周在其组织切片中未发现钽丝有任何腐蚀或电解的迹象。Bobyne等<sup>[16]</sup>在一项牙科多孔钽植入后的8年临床随访研究中发现, 多孔钽金属植入物表面的氧化层在体内较大的pH值范围内始终保持稳定。

**生物相容性:**自1940年纯钽应用于医疗以来,大多数报道认为金属钽作为人体植入材料未发现任何不良反应<sup>[17]</sup>。Balla等<sup>[18]</sup>通过体外研究表明:同孔隙率的多孔钽样品和多孔钛样本相比较具有优越的生物相容性。他们通过扫描电镜细胞形态学、免疫组织化学、激光共聚焦显微镜分析定性评估以及移动目标跟踪法对医用多孔钽金属进行定量评估显示:在多孔钽样本上的大多数细胞具有良好的黏附性和延展性,这表明钽表面具有良好的生物相容性,并且不会抑制骨细胞的黏附与生长。而且,在医用多孔钽样本上有相对较多的细胞外基质矿化,这表明成骨细胞已出现分化,细胞液也出现了转型。其动物实验组织学和临床评价显示:实验早期就在医用多孔金属钽中迅速出现了起愈合作用的纤维组织和骨组织。这些内在特性和良好的生物相容性使多孔金属钽成为引人注目的用于设计和制造全髌关节成形中黏合元件的金属材料。

**骨诱导性和骨再生能力:**多孔钽金属作为骨组织工程代表性材料,具有高度生物适应性,其在骨诱导和促进骨再生方面表现着非凡的特性。Bobyne等<sup>[19]</sup>报道了一项为期6个月的体内实验,在22例犬模型中植入多孔金属钽髌白元件后通过组织学和X射线摄影检测到了骨植入体界面,并通过电镜检查得到验证,植入后4周其孔隙的骨长入率为42%,植入后16周为63%,植入后1年孔隙的骨长入率高达80%。Itala等<sup>[20]</sup>将33只犬的髌腱重建于多孔钽垫圈,分别在3, 6, 12周进行组织学检查,发现纤维组织分别占据多孔钽空间的(42±9)%、(50±3)%和(54±8)%。在重建后6周钽附件的强度大约是非手术侧的76%,虽然直到12周没有增加,但有足够的机械强度承受生理载荷。由此可见,这是一个内生模式,而不是一个软组织不得不愈合在植入物上的表面附着模式。Macheras等<sup>[21]</sup>在1998-01/12对82例患者(86个髌关节)进行了单块多孔钽金属髌白元件的全关节成形,所有患者分别在第6, 12, 24个月时接受一次临床和影像学检查评价,此后每年进行1次,随访时间平均7.3年,影像学结果显示,所有86个元件无射线通透性,也无明显溶解现象,关节植入物没有被重新置换,无脱位及其他并发症。多孔钽金属单块髌白元件的桥接界面缝隙最高5 mm, Veillette等<sup>[22]</sup>在52例患者应用58个多孔钽植入物的研究中也得出了令人满意的结果,12个月时植入物总的生存率为91.8%, 24个月时81.7%, 48个月时68.1%。这些都充分表明:多孔钽金属材料有很强的骨诱导和骨再生能力。

据报道,在一些其他体外和动物体内研究中,医用多孔钽金属为骨组织的长入提供了可附着的支架,促进骨组织的生长和增殖<sup>[23]</sup>。后来Findlay等在研究中对此特性也表示肯定。

**化学表面特性:**多孔钽表面被发现有着高的表面能和细胞浸润性,明显有利于细胞与材料的相容。医用多孔性钽表面的微细结构能促进成骨反应的发生,通过细胞培养和在

动物身上植入物不取出与取出的动态研究发现了多孔钽表面的高成骨现象。国外研究人员曾用移动目标跟踪法检测发现成骨细胞的生长率在有钽器械表面上是在钛器械表面上的6倍<sup>[24]</sup>。实验证明:细胞在钽表面有更多的三维立体的伪足,从而提示细胞在钽表面有着很好的黏附与扩散能力。钽相对于钛有着高的浸润性和高的表面能,从而促进细胞黏附性和增殖性。国外学者曾用高能激光工程的方法使钽涂层在钛器械上提高其与骨的结合性。这种高密度钽涂层能在没有改变钛的高抗疲劳性的同时又利用了钽的表面生物活性。相似的关于高表面能有着高细胞黏附性的结论曾经也是多次被报道的<sup>[25-27]</sup>。此外,局部异物感染是矫形外科的可能并发症,但是Schildhauer等<sup>[28]</sup>的研究减轻了人们的担忧,他们研究了金黄色葡萄球菌和表皮葡萄球菌在纯钽上的黏附力,结果发现:在纯钽上的黏附力比在钛合金、抛光不锈钢、钽涂层不锈钢上少的多,这就显著降低了因异物导致感染的概率。

**2.4 多孔钽金属在膝关节损伤中的应用** 多孔钽金属自应用于临床以来,主要用于髌白假体,且对髌关节损伤的治疗取得了理想的效果,但是随着医学的发展,多孔钽已经开始向其他关节损伤治疗延伸,现将其在膝关节损伤中的应用情况做一简短概述。

**胫骨平台假体:**在膝关节置换中通常所用的钴、铬、钼合金和聚乙烯组配的胫骨平台假体存在着聚乙烯垫底面磨损、金属托应力遮挡等问题。设计人员用压模法直接将超高分子聚乙烯压入整块的多孔钽金属制成整体胫骨假体,从而减少了胫骨近端的应力遮挡,也避免了聚乙烯垫底面磨损。Florio等<sup>[29]</sup>的初步临床报告中,86例患者的101侧初次全膝关节置换应用了多孔钽一体化胫骨平台。其中72侧完全采用非骨水泥植入,另外29侧仅在胫骨托的底面使用骨水泥。植入后2年的随访中,假体-骨界面没有发现进展性的X射线透亮线,且无1例需要翻修。Siffi<sup>[30]</sup>在全膝关节置换中使用多孔钽一体化胫骨平台假体,在植入后2年的随访中,全部X射线平片检查显示固定稳定,未发现假体移位、骨质吸收等现象。

**髌骨假体:**对于存在髌骨骨缺损或髌骨缺如的患者,其伸膝装置破坏,严重影响伸膝功能。利用多孔钽全髌假体置于残余髌骨上并与髌韧带一起缝合固定,理论上能够使髌韧带和残余髌骨长入多孔钽金属而达到较为理想的生物固定。多孔钽全髌骨假体由3部分组成:①如围棋子样的多孔钽,其隆起的一面与残存的髌骨床或者直接与髌韧带相贴,其平坦的一面则通过骨水泥与常规的聚乙烯人工髌骨相结合。②在多孔钽周缘有一圈纯钛的边沿,其上有孔,通过该孔将全髌骨假体缝合到髌韧带上,以获得初期固定。③聚乙烯人工髌骨,一面与多孔钽相互结合,另一面与股骨滑车相关节。

Nasser等<sup>[31]</sup>对11例患者行全膝关节置换后置入了多孔钽髌骨假体,并进行了32个月的随访,植入后X射线检

查显示: 假体稳定, 患者膝关节活动度(ROM)从植入前的62°提高到103°。这11例患者的临床报告说明: 医用多孔钽全髌骨假体的疗效是安全、有效的。

结论: 虽然多孔钽在骨科领域内的应用近年来广受关注, 但是目前医用多孔钽金属在国内应用较少, 而且研究不够深入, 临床应用技术不够娴熟, 这就有待于去更深入的研究和探索。随着多孔钽金属拓展到其他骨科分支, 其理论上的种种优势需要更充分科研和临床证据来证明。由于目前国内临床积累病例尚少, 随访时间尚短, 缺乏严格的随机对照试验, 也没有具体的植入物取出组织学研究。因此, 更多的关于医用多孔钽金属的特性还需要人们更深入的发现、探索和考证。

### 3 参考文献

- [1] 战策, 王志伟. 钽金属在骨科的临床应用[J]. 中国矫形外科杂志, 2009, 17(20): 1547-1549.
- [2] 夏凤金, 刘培生, 周茂奇. 多孔钽的制备方法[J]. 科技创新导报, 2008, 1: 83-84.
- [3] 武垚森, 池永龙. 小梁金属(多孔钽)在骨科的应用现状[J]. 中华骨科杂志, 2007, 27(12): 939-941.
- [4] Hacking SA, Bobyn JD, Toh K, et al. Fibrous tissue ingrowth and attachment to porous tantalum. J Biomed Mater Res. 2000; 52(4):631-638.
- [5] Aldegheri G, Tagliavero A. The tantalum screw for treating femoral head necrosis. rationale and results Strat Traum. Limb Recon. 2007;2(2-3):63-68.
- [6] Nadeau M, Séguin C, Theodoropoulos JS, et al. Short term clinical outcome of a porous tantalum implant for the treatment of advanced osteonecrosis of the femoral head. Mcgill J Med. 2007;10(1):4-10.
- [7] 应明. 多孔钽及在人工关节中的应用[J]. 生物骨科材料与临床研究, 2006, 3(2): 1-3.
- [8] 陈凯, 蔡郑东. 多孔钽金属植入治疗早期股骨头坏死研究进展[J]. 国际骨科学杂志, 2008, 29(1): 41-42.
- [9] Tsao AK, Roberson JR, Christie MJ, et al. Biomechanical and clinical evaluations of a porous tantalum implant for the treatment of early-stage osteonecrosis. J Bone Joint Surg Am. 2005;87 Suppl 2:22-27.
- [10] Zardiackas LD, Parsell DE, Dillon LD, et al. Structure, metallurgy, and mechanical properties of a porous tantalum foam. J Biomed Mater Res. 2001;58(2):180-187.
- [11] Schepers S. The biological action of tantalum oxide. Arch Ind Health. 1955;12:121.
- [12] Johansson CB, Hansson HA, Albrektsson T. Qualitative interfacial study between bone and tantalum, niobium or commercially pure titanium. Biomaterials. 1990;11(4):277-280.
- [13] 周长忍. 生物材料学[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2004: 111-149.
- [14] Levine B, Della Valle CJ, Jacobs JJ. Applications of porous tantalum in total hip arthroplasty. J Am Acad Orthop Surg. 2006;14(12):646-655.
- [15] Matsuno H, Yokoyama A, Watari F, et al. Biocompatibility and osteogenesis of refractory metal implants, titanium, hafnium, niobium, tantalum and rhenium. Biomaterials. 2001;22(11): 1253-1262.
- [16] Bobyn JD, Poggie RA, Krygier JJ, et al. Clinical validation of a structural porous tantalum biomaterial for adult reconstruction. J Bone Joint Surg Am. 2004;86-A Suppl 2:123-129.
- [17] 王世俊. 金属中毒[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1998: 463.
- [18] Balla VK, Bodhak S, Bose S, et al. Porous tantalum structures for bone implants: fabrication, mechanical and in vitro biological properties. Acta Biomater. 2010;6(8):3349-3359.
- [19] Bobyn JD, Stackpool GJ, Hacking SA, et al. Characteristics of bone ingrowth and interface mechanics of a new porous tantalum biomaterial. J Bone Joint Surg Br. 1999;81(5): 907-914.
- [20] Itälä A, Heijink A, Leerapun T, et al. Successful canine patellar tendon reattachment to porous tantalum. Clin Orthop Relat Res. 2007;463:202-207.
- [21] Macheras GA, Papagelopoulos PJ, Kateros K, et al. Radiological evaluation of the metal-bone interface of a porous tantalum monoblock acetabular component. J Bone Joint Surg Br. 2006;88(3):304-309.
- [22] Veillette CJ, Mehdian H, Schemitsch EH, et al. Survivorship analysis and radiographic outcome following tantalum rod insertion for osteonecrosis of the femoral head. J Bone Joint Surg Am. 2006;88 Suppl 3:48-55.
- [23] Bobyn JD, Toh KK, Hacking SA, et al. Tissue response to porous tantalum acetabular cups: a canine model. J Arthroplasty. 1999;14(3):347-354.
- [24] Balla VK, Banerjee S, Bose S, et al. Direct laser processing of a tantalum coating on titanium for bone replacement structures. Acta Biomater. 2010;6(6):2329-2334.
- [25] Zhang YM, Bataillon-Linez P, Huang P, et al. Surface analyses of micro-arc oxidized and hydrothermally treated titanium and effect on osteoblast behavior. J Biomed Mater Res A. 2004;68(2): 383-391.
- [26] Redey SA, Nardin M, Bernache-Assolant D, et al. Behavior of human osteoblastic cells on stoichiometric hydroxyapatite and type A carbonate apatite: role of surface energy. J Biomed Mater Res. 2000;50(3):353-354.
- [27] Das K, Bose S, Bandyopadhyay A. Surface modifications and cell-materials interactions with anodized Ti. Acta Biomater. 2007; 3(4):573-585.
- [28] Schildhauer TA, Robie B, Muhr G, et al. Bacterial adherence to tantalum versus commonly used orthopedic metallic implant materials. J Orthop Trauma. 2006;20(7):476-484.
- [29] Florio CS, Poggie RA, Sidebotham C, et al. Stability characteristics of a cementless monoblock porous tantalum tibial implant without ancillary fixation. Trans Orthop Res Soc. 2004;29:1530.
- [30] Siffi A. Short term results of TKA using a cementTM tibial monoblock. Proceeding of 73rd AAOS Annual Meeting, Chicago, 2006.
- [31] Nasser S, Poggie RA. Revision and salvage patellar arthroplasty using a porous tantalum implant. J Arthroplasty. 2004;19(5):562-572.

**关于作者:** 文章资料收集和成文由第一作者负责, 审校由通讯作者负责。

**利益冲突:** 课题未涉及任何厂家及相关雇主或其他经济组织直接或间接的经济或利益的赞助。

**伦理批准:** 没有与相关伦理道德冲突的内容。

**此问题的已知信息:** 虽然多孔钽在骨科领域内的应用近年来广受关注, 但是目前医用多孔钽金属在国内应用较少, 而且研究不够深入, 临床应用技术不够娴熟, 这就有待于去更深入的研究和探索。

**本综述增加的新信息:** 随着多孔钽金属拓展到其他骨科分支, 其理论上的种种优势需要更充分科研和临床证据来证明。由于目前国内临床积累病例尚少, 随访时间尚短, 缺乏严格的随机对照试验, 也没有具体的植入物取出组织学研究。因此, 更多的关于医用多孔钽金属的特性还需要人们更深入的发现、探索和考证。

**临床应用的意义:** 多孔钽金属自应用于临床以来, 主要用于髌白假体, 且对髌关节损伤的治疗取得了理想的效果, 但是随着医学的发展, 多孔钽已经开始向其他关节损伤治疗延伸。